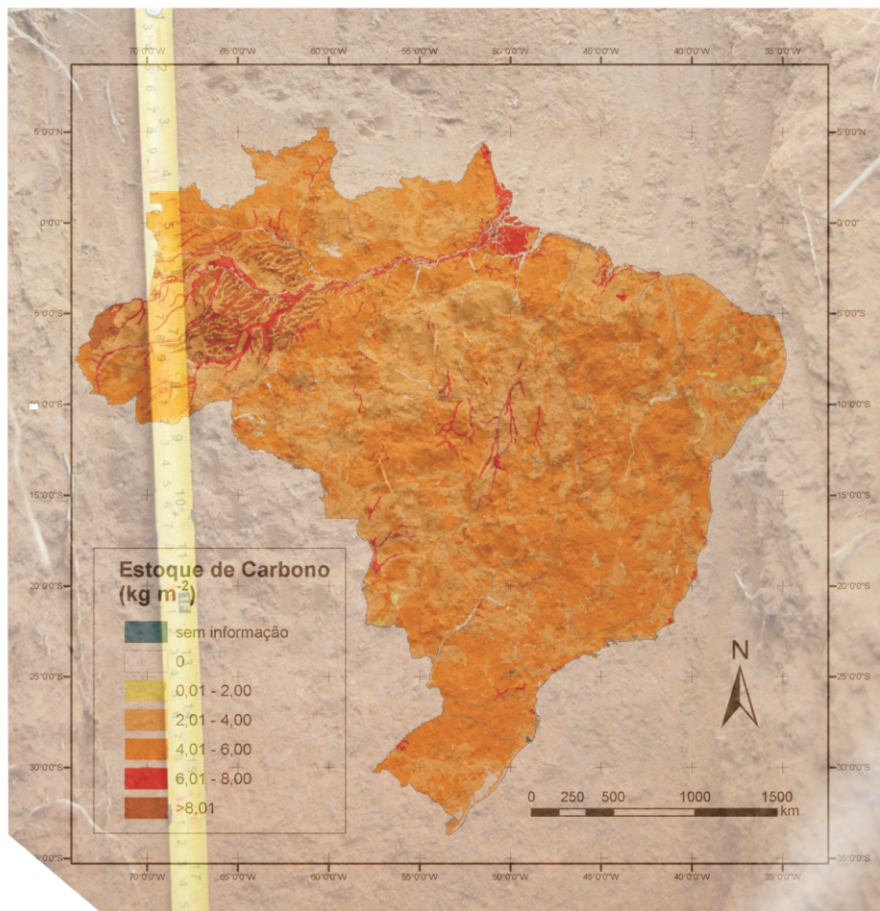


Estoque de Carbono nos Solos do Brasil



ISSN 1678-0892

Dezembro, 2007

*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Centro Nacional de Pesquisa de Solos
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*

Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 121

Estoque de Carbono nos Solos do Brasil

Elaine Cristina Cardoso Fidalgo

Vinícius de Melo Benites

Pedro Luiz Oliveira de Almeida Machado

Beáta Eموke Madari

Maurício Rizzato Coelho

Iuri Barroso de Moura

Carolina Xavier de Lima

Rio de Janeiro, RJ

2007

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

Embrapa Solos

Rua Jardim Botânico, 1.024 Jardim Botânico. Rio de Janeiro, RJ

Fone: (21) 2179-4500

Fax: (21) 2274.5291

Home page: www.cnps.embrapa.br

E-mail (sac): sac@cnps.embrapa.br

Comitê Local de Publicações

Presidente: Aluísio Granato de Andrade

Secretário-Executivo: Antônio Ramalho Filho

Membros: Marcelo Machado de Moraes, Jacqueline Silva Rezende Mattos,
Marie Elisabeth C. Claessen, José Coelho de A. Filho, Paulo Emílio F. da Motta,
Vinícius de Melo Benites, Elaine Cristina Cardoso Fidalgo, Maria de Lourdes
Mendonça Santos Brefin, Pedro Luiz de Freitas.

Supervisor editorial: *Jacqueline Silva Rezende Mattos*

Revisor de Português: *André Luiz da Silva Lopes*

Normalização bibliográfica: *Marcelo Machado Moraes*

Editoração eletrônica: *Pedro Coelho Mendes Jardim*

1ª edição

1ª impressão (2007): online

Todos os direitos reservados.

A reprodução não-autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610).

631.41

F449 Fidalgo, Elaine Cristina Cardoso.

Estoque de carbono nos solos do Brasil / Elaine Cristina Cardoso Fidalgo ...[et al.]. – Dados eletrônicos. — Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2007.

(Boletim de pesquisa e desenvolvimento / Embrapa Solos, ISSN 1678-0892 ; 121)

Sistema requerido: Adobe Acrobat Reader.

Modo de acesso: <<http://www.cnps.embrapa.br/solosbr/conhecimentos.html>>

Título da página da Web (acesso em 10 dez. 2007).

ISSN 1678-0892

1. Brasil. 2. Carbono. 3. Mapa. 4. Solo. I. Benites, Vinícius de Melo. II. Machado, Pedro Luiz Oliveira de Almeida. III. Madari, Beata Esmoke. IV. Coelho, Maurício Rizzato. V. Moura, Iuri Barroso de. VI. Lima, Carolina Xavier de. VII. Embrapa. VIII. Título. IX. Série.

Sumário

Resumo	5
Abstract	7
Introdução	9
Material e métodos	11
Resultados e Discussão	14
a. Estimativa considerando os diferentes tipos de solo	14
b. Estimativa considerando os diferentes tipos de solo em cada bioma	18
c. Estimativa considerando solos sob os diferentes usos e biomas	20
d. Estimativa considerando os tipos de solos sob os diferentes usos e biomas	22
Conclusões	25
Referências Bibliográficas	25

Estoque de Carbono nos Solos do Brasil

Elaine Cristina Cardoso Fidalgo¹

Vinícius de Melo Benites¹

Pedro Luiz Oliveira de Almeida Machado²

Beáta Eموke Madari²

Maurício Rizzato Coelho¹

Iuri Barroso de Moura³

Carolina Xavier de Lima⁴

Resumo

Estimativas de estoque de carbono nos solos do Brasil em nível nacional são poucas e se deparam com a falta de informações disponíveis sobre a quantidade de carbono orgânico nos solos sob diferentes usos e em diferentes regiões. Utilizando informações disponíveis na base de dados de solos "SIGSOLOS", organizada pela Embrapa Solos, o presente trabalho foi desenvolvido com o objetivo de estimar o estoque de carbono nos solos no Brasil, considerando os diferentes tipos de solo sob diferentes sistemas de uso e distribuídos nos diversos biomas brasileiros. Para a estimativa do estoque de carbono nos solos, considerou-se quatro diferentes conjuntos de dados: as médias de C por classe de solo; as médias de C por classe de solo em cada bioma do território brasileiro; as médias de C dos solos sob um mesmo tipo de uso em cada bioma do território brasileiro; e as médias de C por classe de solo, separados por tipo de uso e por bioma em que ocorrem. A estimativa do estoque de carbono em cada agrupamento foi obtida através da somatória do

¹ Pesquisador Embrapa Solos. Rua Jardim Botânico 1024, Jardim Botânico, Rio de Janeiro-RJ. Email: efidalgo@cnps.embrapa.br, benites@cnps.embrapa.br, rizzato@cnps.embrapa.br

² Pesquisador Embrapa Arroz e Feijão. Rodovia GO-462, km 12 Zona Rural C.P. 179 CEP: 75375-000 Santo Antônio de Goiás, GO. Email: pmachado@cnpaf.embrapa.br, madari@cnpaf.embrapa.br.

³ Estudante de Geografia, Instituto de Geociências - UFRJ. Bloco G2 - Salas 25 e 27 - Cidade Universitária, Ilha do Fundão, Rio de Janeiro - RJ. email: iurigeomoura@hotmail.com

⁴ Geógrafa. Email: carolxavierdelima@yahoo.com.br

produto da média de C estimada e da área correspondente de cada conjunto de dados. Considerando os diferentes tipos de solo, utilizaram-se dados provenientes de um total de 1712 perfis e obteve-se uma estimativa de 36,60 Pg de C na camada entre 0 e 30 centímetros nos solos do Brasil. Considerando os diferentes tipos de solo em cada bioma, utilizaram-se 1700 perfis e a estimativa de carbono foi um pouco inferior, igual a 36,30 Pg de C. Para as análises, considerando os solos sob os diferentes usos e biomas e tipos de solos sob os diferentes usos e biomas, o número de perfis utilizado foi menor – 770 e 752, respectivamente – e os resultados apresentaram as menores estimativas – 32,32 e 34,65 Pg de C, respectivamente. As estimativas de estoque de carbono apresentam valores próximos entre si e compatíveis com a estimativa obtida em outro estudo, exceto no caso em que se considerou o uso do solo por bioma, cujo resultado foi subestimado devido à falta de informações disponíveis. Porém uma análise mais detalhada dos resultados mostra que a base de dados disponível apresenta lacunas que impedem a estimativa robusta do estoque de carbono dos solos do Brasil, considerando a distribuição das classes de solos em todos os biomas do território nacional e os diferentes tipos de uso do solo.

Termos de indexação: estoque de carbono, carbono no solo.

Soil Carbon Stocks in Brazil

Abstract

Estimates of soil carbon stocks in Brazil at national level are few and suffer from the lack of available data on the amount of soil organic carbon (C) under different land use and various biomes. The objective of this work was to estimate the soil carbon stocks of Brazil under different land use and biomes using available information of the SIGSOLOS data bank. Four different groups were considered for the estimates: 1) Average soil carbon by soil class; 2) Average soil C by soil class in each biome; 3) Average soil C by specific land use class in different biomes and; 4) Average soil C by soil class divided by land use class and biome. The soil carbon stock was calculated as the sum of products of the estimate average C and corresponding data set area. Considering different soil types, 1712 soil profiles were used resulting in 36.6 Pg C at 0-30 cm depth. Considering different soil types in each biome, 1700 soil profiles were used resulting in 36,3 Pg C at 0-30 cm. Considering soils under different land use and biomes, and soil types under different land use and biomes (770 and 752 soil profiles, respectively) the amount of soil carbon at 0-30 cm were 32.3 and 34.7 Pg C, respectively. The estimates were not contrasting between each other, except when land use and biomes was considered leading to low soil C stocks probably due to low available

data. A more comprehensive estimate of soil C stock of Brazil at national level is impeded due to low available data to represent all land use by soil class, and biome.

Index terms: carbon stock, soil carbon.

Introdução

Este trabalho está inserido no Projeto Agrogases, financiado pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa – Macroprograma 1), cujo objetivo principal é avaliar o estoque de carbono e quantificar as emissões de gases de efeito estufa em agrossistemas, visando a identificação e seleção de práticas agrícolas sustentáveis e mitigadoras, bem como analisar a vulnerabilidade e os riscos dos sistemas agrícolas aos efeitos de mudanças globais. O projeto Agrogases é um projeto em rede, do qual participam diversas unidades da Embrapa em todo o Brasil e outras instituições estatais, privadas e não-governamentais, como o Instituto de Zootecnia de São Paulo; Departamento de Zootecnia/Unesp - Campus Jaboticabal, SP; Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios (APTA)/Pólo Regional de Desenvolvimento do Agronegócio do Vale Paraíba, Pindamonhangaba, SP; Departamento de Ciências Atmosféricas – Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas/Universidade de São Paulo; The Woods Hole Research Center; Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais/Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos; Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”/Universidade de São Paulo; Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia; Universidade Federal do Acre; Instituto de Pesquisa da Ambiental da Amazônia; e Sociedade de Pesquisa em Vida Selvagem (SPVS).

O aumento da concentração de gases de efeito estufa na atmosfera e sua influência sobre as mudanças climáticas globais suscitaram o interesse internacional sobre a dinâmica de entrada e permanência do carbono na atmosfera. A Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima, criada em 1992, da qual o Brasil é signatário, requer dos países membros a realização de inventários periódicos de emissões de gases gerados por atividades agrícolas, industriais e urbanas.

Os solos representam um importante componente no ciclo biogeoquímico do carbono, armazenando cerca de quatro vezes mais C que a biomassa vegetal e quase três vezes mais que a atmosfera (WATSON, 2001).

As principais fontes e sumidouros de CO₂ nos solos estão associadas às mudanças na quantidade de carbono orgânico estocada. O aumento ou diminuição deste estoque depende da quantidade e qualidade da matéria orgânica que entra no solo, os quais, junto à taxa de decomposição, são determinados pela interação entre clima, atributos do solo, e uso e manejo das terras, levando-se em conta seu histórico de uso. Em ecossistemas não alterados pela ação humana, as condições de clima e solo são os principais determinantes do balanço de carbono porque eles controlam as taxas de produção e decomposição. Em sistemas agrícolas, o uso da terra e seu manejo modificam a entrada de matéria orgânica devida à produção de resíduo, ao tipo de cultura, à fertilização e aos procedimentos de colheita (ONU, 1997).

Devido à dificuldade na obtenção de medidas diretas de mudança de carbono no solo, IPCC/UNEP/OECD/IEA (ONU, 1997) reconhecem a importância da estimativa do estoque de carbono dos solos para o inventário.

Estimativas de estoque de carbono nos solos do Brasil, em nível nacional, são poucas e se deparam com a falta de informações disponíveis sobre a quantidade de carbono orgânico nos solos sob diferentes usos e em diferentes regiões do Brasil. Turner et al. (1998, citados por Bernoux et al. 2002) estimaram que o estoque de carbono nos solos no Brasil, até uma profundidade de 1 metro, é de 72 Pg.

Bernoux et al. (2002), combinando diferentes associações de solo/vegetação com dados de bases de solos, estimaram que os solos brasileiros apresentam $36,4 \pm 3,4$ Pg de carbono entre 0 e 30 centímetros. Para esta estimativa, os autores utilizaram uma classificação simplificada de solos baseada nas recomendações de IPCC/UNEP/OECD/IEA (ONU, 1997), agrupando os solos brasileiros em 6 classes.

A Embrapa Solos organizou uma base de dados de solos, "SIGSOLOS", com a finalidade de potencializar o armazenamento, a manipulação e a disponibilização das informações existentes sobre os solos brasileiros (CHAGAS et al. 2004). Essa base é composta por informações oriundas de levan-

tamentos de solos, teses e artigos científicos publicados no período de 1958 a 2001, provenientes principalmente da Embrapa Solos.

Utilizando as informações disponíveis nesta base de dados de solos, o presente trabalho foi desenvolvido com o objetivo de estimar o estoque de carbono no solo no Brasil considerando os diferentes tipos de solo sob diferentes sistemas de uso e distribuídos nos diversos biomas brasileiros.

Material e métodos

Estimativas do estoque de carbono do solo dependem da disponibilidade de dados sobre conteúdo de carbono (em g de C kg⁻¹ de solo) e densidade do solo (DS). Valores da DS são necessários para converter o conteúdo de carbono como porcentagem do peso seco para peso de carbono por unidade de área (HOWARD et al. 1995).

O banco de dados de solos disponível na Embrapa Solos conta com informações sobre 2257 perfis (8441 horizontes) de levantamentos realizados entre 1958 e 2001. Destes horizontes, apenas 1542 apresentam informações sobre a densidade do solo.

Para os demais horizontes em que não havia a informação de densidade, utilizou-se um procedimento estatístico baseado no desenvolvimento de funções de pedotransferência para prever a densidade. O método empregado e os resultados deste trabalho são descritos por Benites et al. (2007) e a equação empregada para estimar a densidade do solo em cada horizonte é apresentada a seguir.

$$DS = 1.56 - (0,0005 \cdot \text{Argila}) - (0,01 \cdot C) + (0,0075 \cdot S)$$

onde:

DS é a densidade do solo em g cm⁻³,

Argila é o conteúdo de argila em g kg⁻¹,

C é o conteúdo de carbono orgânico em g kg⁻¹ e

S é a soma de cátions (Ca²⁺ + Mg²⁺ + K⁺ + Na⁺)

Foram selecionados somente os horizontes em que C, Argila, Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^{+} e Na^{+} estavam disponíveis.

Após a obtenção da densidade do solo nos horizontes, foi realizada a estimativa de carbono por horizonte utilizando a equação:

$$C_t = C \, D \, S \, E / 100$$

onde:

C_t = carbono total no horizonte em kg m^{-2} ,

C = conteúdo de carbono orgânico em g kg^{-1} ,

DS = densidade do solo medida (para os casos em que essa informação estava disponível) ou estimada segundo a equação anterior (para os demais casos) em g cm^{-3} , e

E = espessura do horizonte em cm.

O próximo passo foi calcular, para cada perfil de solo, o carbono total considerando o conjunto de horizontes até a profundidade de 30 centímetros. Neste caso foi necessário estabelecer um conjunto de regras para padronizar a estimativa até essa profundidade:

- foram excluídos os perfis com profundidade final menor que 20 centímetros,
- foram excluídos os horizontes com profundidade inicial maior que 25 centímetros ou com profundidade final maior que 40 centímetros.

O carbono total nos 30 centímetros iniciais do solo foi obtido por perfil somando a estimativa de carbono de cada horizonte no perfil até a profundidade máxima de 30 centímetros.

Para a estimativa do estoque de carbono nos solos do Brasil, considerou-se quatro diferentes conjuntos de dados, aqui denominados grupamentos:

1. as médias de C por classe de solo,
2. as médias de C por classe de solo em cada bioma do território brasileiro,

3. as médias de C dos solos sob um mesmo tipo de uso em cada bioma do território brasileiro, e

4. as médias de C por classe de solo, separadas por tipo de uso e por bioma em que ocorrem.

Devido à ausência de dados representativos de todos os tipos de solos, sob diferentes usos da terra em cada bioma, esses cenários foram criados para análise dos resultados das estimativas da quantidade de carbono no solo, considerando alguns desses fatores isoladamente e com isso obter amostras com um maior número de perfis.

No primeiro cenário, considerou-se somente a variabilidade existente entre os tipos de solos. Neste caso, foram obtidos os valores médios de carbono por classe de solo. No segundo cenário, além do tipo de solo, outra fonte de variação foi incluída, os biomas - Amazônia, Cerrado, Caatinga, Mata Atlântica, Pantanal e Pampa. No terceiro cenário, trabalhou-se com a média de carbono por uso da terra em cada bioma, sem considerar os diferentes tipos de solos. No último cenário, o conjunto de aspectos que interferem na quantidade de C no solo foram considerados: o tipo de solo, o uso da terra e o bioma.

Para a estimativa da área de cada classe de solo, uso e bioma foram utilizados o mapa de solos do Brasil (IBGE, 2006b), o mapa de vegetação do Brasil (IBGE, 2004) e o mapa de biomas (IBGE, 2004a), todos em escala 1:5.000.000. Para o cálculo de área e integração de informações espaciais, utilizou-se o programa ArcGIS versão 9.1 da ESRI.

As estimativas de média de C foram obtidas diretamente no banco de dados de solos da Embrapa Solos. Para a estimativa de média por classe de solo, os solos presentes no banco foram classificados até o segundo nível categórico segundo o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 1999). Neste caso, utilizaram-se as informações presentes no banco sobre as propriedades dos solos e a classificação segundo sistemas anteriores. As médias por uso do solo foram obtidas a partir da categorização do uso definida com base na descrição do uso em cada perfil. As médias por bioma foram obtidas

identificando, para cada perfil o bioma em que ele ocorre. Neste caso utilizou-se a localização dos perfis fornecida no banco de dados de solos: as coordenadas geográficas dos perfis ou, no caso de ausência dessa informação, a localização da sede do município onde o perfil foi obtido.

A estimativa do estoque de carbono em cada grupamento foi obtida através da somatória do produto da média de C estimada e da área correspondente de cada conjunto de dados, por exemplo, classe de solo por bioma.

$$C = \sum \bar{C}_j \cdot A_j$$

onde:

\bar{C} = estoque de carbono dos solos,

C_j = média de carbono do conjunto j,

A_j = área do conjunto j.

Resultados e Discussão

Dos 2257 perfis disponíveis no banco de dados de solos, após a exclusão dos perfis que não tinham dados de densidade do solo e dados necessários para a estimativa da densidade; dos perfis com profundidade menor que 20 centímetros; e daqueles com inconsistências de dados restaram 1764 perfis. Para estes foi estimado o estoque de carbono em kg m⁻².

A seguir são apresentados os resultados da estimativa de estoque de carbono nos solos para cada conjunto de dados ou grupamento.

A. Estimativa considerando os diferentes tipos de solo

Os solos presentes no banco de dados de solos se encontram distribuídos em 17 classes: Alissolo, Argissolo, Cambissolo, Chernossolo, Espodossolo, Gleissolo, Latossolo, Luvisolo, Neossolo Flúvico, Neossolo Litólico, Neossolo Quartzarênico, Neossolo Regolítico, Nitossolo, Planossolo, Planossolo Hidromórfico, Plintossolo e Vertissolo.

A classificação no segundo nível categórico foi utilizada apenas nos casos em que as estimativas de carbono apresentaram muita variação ao se agrupar todos os solos no primeiro nível categórico. Neste caso, incluem-se os Neossolos e o Planossolo Hidromórfico.

O método de estimativa de C não apresentou resultados satisfatórios para os Organossolos. Devido à pequena área que esses solos ocupam (0,026% da área do território nacional), decidiu-se retirá-los da análise.

Neste agrupamento a estimativa de carbono envolveu dados provenientes de um total de 1712 perfis e totalizou 36,59 Pg de C.

As quantidades médias de carbono, o número de perfis amostrados e o desvio padrão estimado para cada classe de solo, bem como a área e estoque de carbono estimado por classe de solo no Brasil são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Quantidade média de carbono em kg m^{-2} (C), número de perfis (n), desvio padrão (s), área, estoque de carbono estimado e produto do desvio padrão pela área de cada classe de solo.

Classe solo	C	n	s	área (km^2)	estoque C (10^9 t)	s x área (10^9 t)
Alissolo	8,48	2	1,75	245403,65	2,08	0,43
Argissolo	3,79	383	1,91	2028094,42	7,68	3,86
Cambissolo	5,50	125	2,61	446548,31	2,46	1,16
Chernossolo	4,70	3	1,39	37206,21	0,17	0,05
Espodossolo	4,12	6	3,75	167506,36	0,69	0,63
Gleissolo	6,60	75	3,67	398901,32	2,63	1,46
Latossolo	4,18	608	1,59	2678307,88	11,21	4,27
Luvissolo	5,39	56	2,72	241910,49	1,30	0,66
Neossolo Flúvico	3,65	76	1,70	25268,03	0,09	0,04
Neossolo Litólico	5,62	80	3,36	615747,78	3,46	2,07
Neossolo Quartzarênico	3,03	46	2,88	477914,96	1,45	1,38
Neossolo Regolítico	1,26	3	0,31	18842,11	0,02	0,01
Nitossolo	5,50	118	2,07	96533,45	0,53	0,20
Planossolo	2,27	50	1,34	170560,48	0,39	0,23
Planossolo hidromórfico	3,22	2	0,32	56002,14	0,18	0,02
Plintossolo	3,67	64	2,05	588448,88	2,16	1,21
Vertissolo	5,00	15	2,68	17631,17	0,09	0,05
TOTAIS		1712		8310827,65	36,59	17,72

Observa-se que alguns tipos de solos apresentaram amostras com reduzido número de perfis, 2 a 6, representando solos que ocupam dezenas ou centenas de milhares de quilômetros e se encontram distribuídos por todo o território nacional.

Também se observa a grande variabilidade dos valores de carbono orgânico em cada classe de solo. A somatória do desvio padrão multiplicado pela área de cada classe de solo se aproxima da metade do valor estimado para o estoque de C dos solos do Brasil.

A distribuição, no mapa do Brasil, da quantidade de carbono estimada é apresentada na Figura 1. Os espaços que apresentam valor igual a 0 de carbono correspondem principalmente às áreas de água, afloramento rochoso e dunas (2,00% do território nacional).

Fazendo uma correção da estimativa para a área total de solos do território nacional, incluindo a área para a qual não se tem informação (Organossolos), tem-se a estimativa de 36,60 Pg de C. Essa correção foi realizada associando, à área sem informação, a quantidade média de carbono obtido para o restante do território nacional.

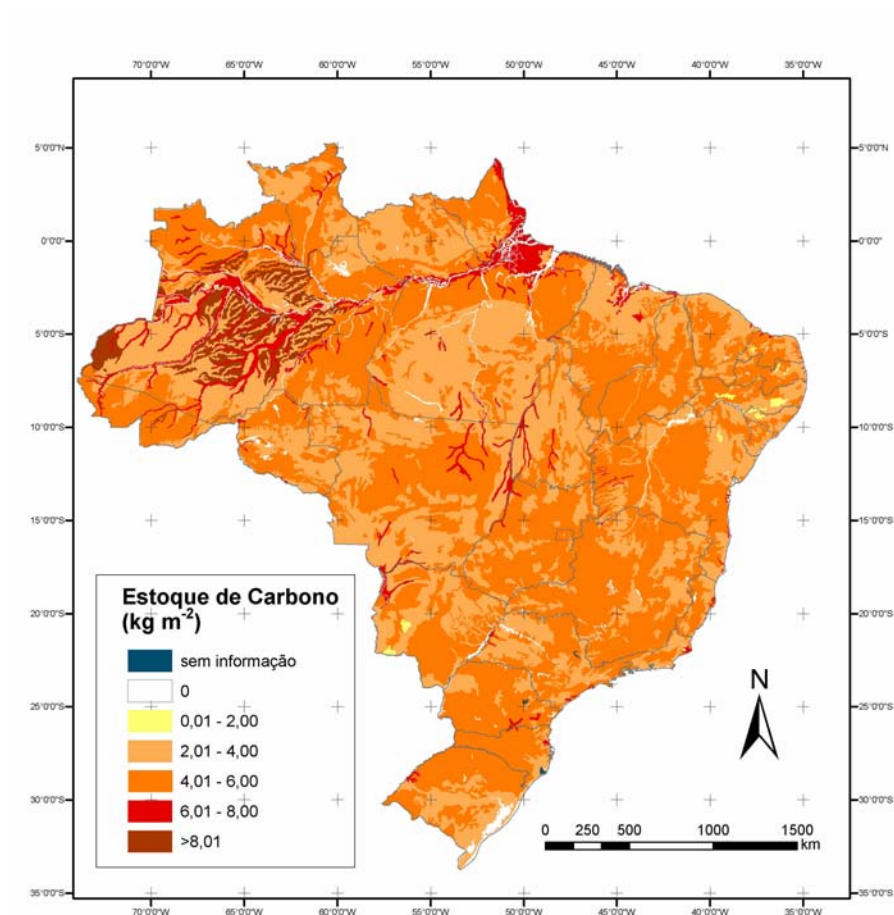


Fig. 1. Estimativa do estoque de carbono (kg m⁻²) considerando os diferentes tipos de solos do Brasil.

Este mapa mostra a ocorrência de solos com alto estoque de carbono, superior a 8,01 kg m⁻², na região Amazônica. Este valor de estoque de carbono estimado foi obtido para os Alissolos, porém na base de dados utilizada, os dados de Alissolos disponíveis são de perfis levantados na Mata Atlântica. Porém, na representação espacial dos solos do Brasil em escala 1:5.000.000, os Alissolos se restringem à Região Amazônica. Para a melhor

representação das classes de solo por região e, conseqüentemente, redução de erros como este, as análises foram refeitas considerando um novo agrupamento, em que se obteve as médias de carbono por classe de solo pertencente a cada bioma.

B. Estimativa considerando os diferentes tipos de solo em cada bioma

Neste agrupamento a estimativa envolveu dados provenientes de um total de 1700 perfis e totalizou 34,02 Pg de C.

Na Figura 2 é apresentado o mapa do Brasil com a distribuição da quantidade de carbono estimada. As áreas de água, afloramento rochoso e dunas aparecem com valor de carbono igual a 0. Através do mapa podemos observar a carência expressiva de dados para os biomas Pantanal e Pampas. As combinações solo/bioma presentes no mapa para os quais não havia estimativa de carbono ocupam uma área total de 4,20 % do território nacional, sendo AMAZÔNIA (Alissolo, Chernossolo, Neossolo Regolítico e Vertissolo), CAATINGA (Alissolo, Espodossolo, Planossolo Hidromórfico), CERRADO (Alissolo, Chernossolo, Espodossolo, Neossolo Regolítico e Planossolo Hidromórfico), MATA ATLÂNTICA (Alissolo, Chernossolo, Planossolo Hidromórfico, Plintossolo e Vertissolo), PAMPA (Alissolo, Cambissolo, Chernossolo, Espodossolo, Gleissolo, Latossolo, Neossolo Flúvico, Neossolo Litólico, Neossolo Quartzarênico, Neossolo Regolítico, Planossolo Hidromórfico, Plintossolo e Vertissolo) e PANTANAL (Alissolo, Cambissolo, Chernossolo, Espodossolo, Gleissolo, Luvisolo, Neossolo Flúvico, Neossolo Litólico, Neossolo Quartzarênico, Neossolo Regolítico, Nitossolo, Planossolo, Planossolo Hidromórfico, Plintossolo e Vertissolo).

Fazendo uma correção da estimativa para área total coberta por solos do território nacional, incluindo a área para a qual não se tem informação, tem-se a estimativa de 36,30 Pg de C.

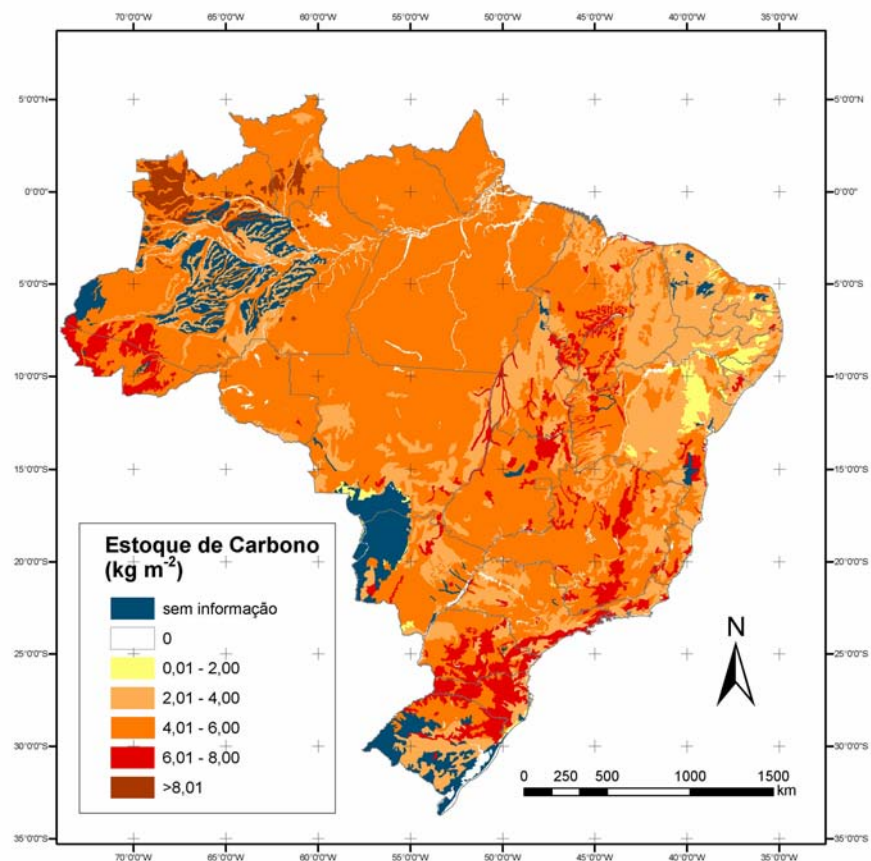


Fig. 2. Estimativa do estoque de carbono (kg m⁻²) considerando os diferentes tipos de solos em cada bioma do Brasil.

Na Tabela 2 são apresentadas as quantidades médias de carbono e o número de perfis amostrado no caso do grupamento anterior, por classe de solo (Brasil), e neste grupamento: por classe de solo e por bioma. No caso, foram utilizadas somente as amostras válidas, ou seja, amostras para as quais havia a correspondente classe de solo ou classe de solo e bioma no mapa. Nesta Tabela são identificados os casos em que não havia amostras representativas da classe de solo no bioma específico – amostra de tamanho 0 – e os casos em que as classes de solos para a área daquele determinado bioma não são

representadas no mapa. Os casos em que ocorreram as duas situações também estão identificados.

Tabela 2. Quantidade média de carbono (C) em kg m⁻² e número de perfis (n) para cada classe de solo do Brasil e dos biomas brasileiros.

Classe de Solo	Brasil		Amazônia		Caatinga		Cerrado		Mata Atlântica		Pampa		Pantanal	
	n	C	n	C	n	C	n	C	n	C	n	C	n	C
Alissolo	2	8,48	0	---	b	---	b	---	b	---	b	---	b	---
Argissolo	383	3,79	121	4,21	72	2,78	47	4,29	139	3,80	3	3,33	1	1,10
Cambissolo	125	5,50	10	5,22	17	4,58	43	4,27	55	6,79	b	---	b	---
Chernossolo	3	4,70	0	---	3	4,70	0	---	0	---	0	---	0	---
Espodossolo	6	4,12	1	10,47	b	---	b	---	4	2,02	b	---	0	---
Gleissolo	75	6,60	21	5,56	6	4,63	22	6,74	26	7,77	0	---	0	---
Latosolo	608	4,18	77	4,31	47	3,48	337	4,06	145	4,65	0	---	2	3,84
Luvissolo	56	5,39	4	6,70	18	3,22	15	6,66	16	6,06	3	6,67	0	---
Neossolo Flúvico	76	3,65	7	2,31	14	3,58	24	3,51	31	4,10	0	---	b	---
Neossolo Litólico	80	5,62	3	5,23	23	3,21	25	6,34	29	6,94	0	---	b	---
Neossolo Quartzarênico	46	3,03	11	4,04	5	4,48	20	2,65	10	1,94	0	---	0	---
Neossolo Regolítico	3	1,26	a	---	2	1,13	0	---	1	1,52	b	---	0	---
Nitossolo	118	5,50	15	5,49	b	---	33	5,82	57	5,64	6	4,20	b	---
Planossolo	50	2,27	7	2,80	28	1,87	4	2,60	7	2,96	0	2,61	0	---
Planossolo hidromórfico	2	3,22	2	3,22	0	---	0	---	0	---	0	---	0	---
Plintossolo	64	3,67	55	3,75	1	3,46	8	3,12	b	---	0	---	0	---
Vertissolo	15	5,00	a	---	12	4,93	1	4,30	0	---	0	---	0	---

a: não aparece no mapa a classe de solo no bioma específico.

b: não aparece no mapa nem há amostra na base de perfis de solos.

Neste grupamento, embora a representação dos solos por bioma seja mais adequada para representar a variabilidade dos solos no território nacional, observa-se como aspecto crítico para a representatividade dos dados o aumento dos casos em que se tem poucos perfis, sendo alguns com apenas um perfil representado.

C. Estimativa considerando solos sob os diferentes usos e biomas

Devido à falta de padronização e de detalhes na informação sobre uso do solo no banco de dados de solo, houve a necessidade de estabelecer uma classificação generalizada para padronizar as amostras disponíveis. O mapa de vegetação e uso da terra também foi reclassificado segundo as três classes definidas: Água - corpos d'água -, Área Antropizada -áreas sob influência antrópica em que o ambiente já foi ou está sendo modificado significativamente por atividades produtivas e pela ocupação humana - e Vegetação Original - áreas em que a vegetação preserva suas características originais.

Neste grupamento a estimativa envolveu dados provenientes de um total de 770 perfis e totalizou 31,20 Pg de C.

Na Figura 3 é apresentado o mapa do Brasil com a distribuição de quantidade de carbono estimado. Observa-se a carência expressiva de dados para os biomas Pantanal e Pampas. Observa-se ainda a homogeneidade dos dados entre os biomas, sendo a diferenciação das estimativas devidas ao uso diferenciado do solo. Isso pode ser melhor analisado na Tabela 3, em que são apresentadas as estimativas de C por uso e bioma.

Tabela 3. Estimativas da quantidade média de carbono (kg m^{-2}) por uso do solo e bioma.

Biomas	Uso do Solo	
	Área Antropizada	Vegetação Original
Amazônia	4,62	3,47
Cerrado	3,97	4,38
Caatinga	3,14	3,92
Mata Atlântica	4,40	5,29
Pantanal	1,10	Sem informação
Pampas	Sem informação	Sem informação

As combinações uso do solo/bioma presentes no mapa para os quais não havia estimativa de carbono ocupam uma área total de 1,5% do território nacional.

Fazendo uma correção da estimativa para toda a área do território nacional, incluindo a área para a qual não se tem informação, tem-se a estimativa de 32,32 Pg de C.

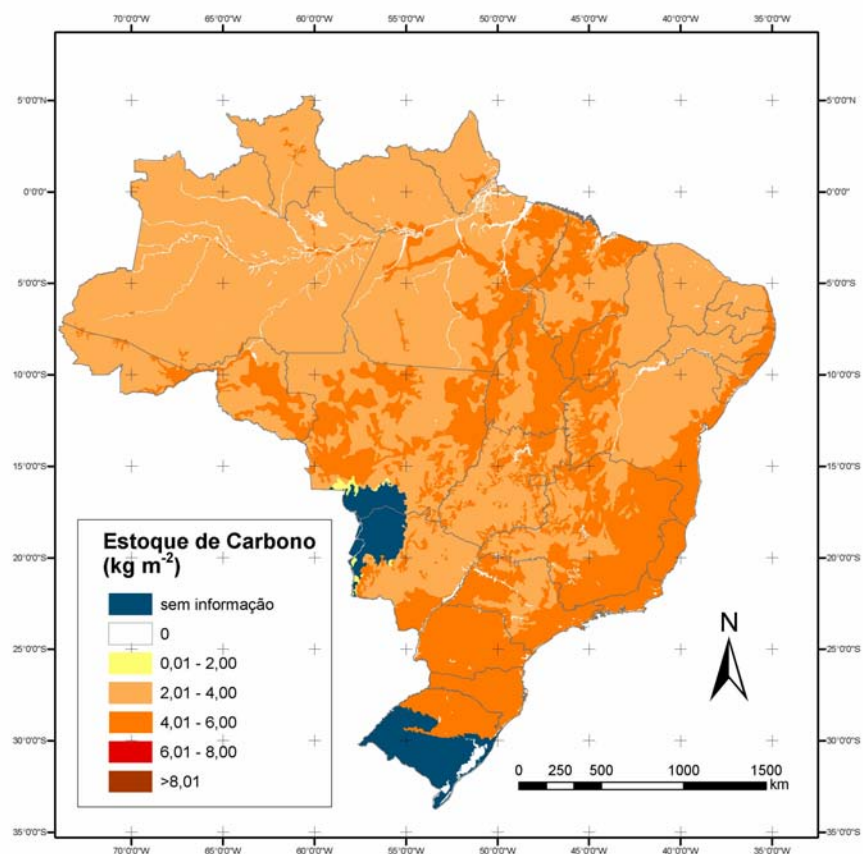


Fig. 3. Estimativa do estoque de carbono (kg m^{-2}) considerando os diferentes tipos de uso em cada bioma do Brasil.

D. Estimativa considerando os tipos de solos sob os diferentes usos e biomas

Neste grupamento a estimativa envolveu dados provenientes de um total de 752 perfis e totalizou 27,29 Pg de C.

Na Figura 4 é apresentado o mapa do Brasil com a distribuição da quantidade de carbono estimado. Os espaços em branco, além das áreas de água, afloramento rochoso, dunas e das áreas dos biomas Pantanal e Pampas, se

estendem também aos biomas Cerrado, Caatinga e Amazônia, mostrando o pequeno número de perfis disponível para estas áreas. As combinações solo/uso do solo/bioma presentes no mapa para os quais não havia estimativa de carbono ocupam uma área total de 18,8 % do território nacional.

Fazendo uma correção da estimativa para toda a área do território nacional, incluindo a área para a qual não se tem informação, tem-se a estimativa de 34,65 Pg de C.

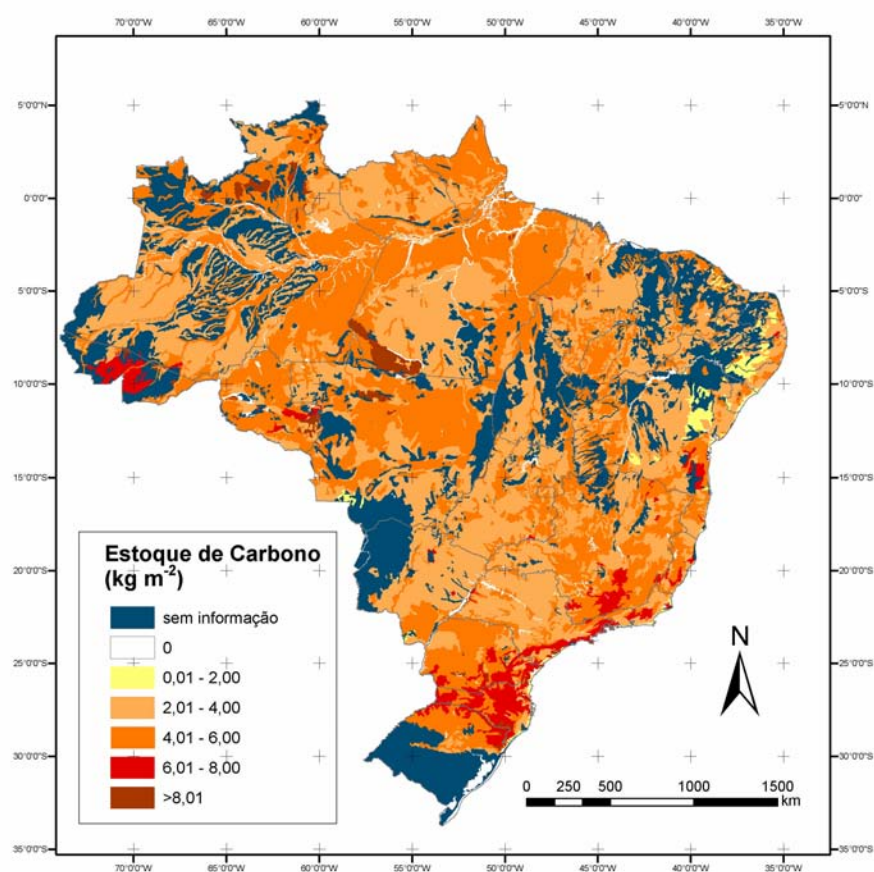


Fig .4. Estimativa do estoque de carbono (kg m^{-2}) considerando os diferentes tipos de solos sob os diferentes usos e biomas do Brasil.

Embora a informação do uso do solo seja de grande importância para a estimativa do estoque de carbono dos solos, os grupamentos que utilizaram essas informações foram os que puderam utilizar menos amostras e representaram áreas menores do território nacional.

A Tabela 4 apresenta o número de amostras utilizado para a obtenção da quantidade média de C dos quatro grupamentos criados, a área que eles representam no mapa e o estoque total de carbono estimado. Também foi acrescentado o cálculo da estimativa de carbono considerando a média de carbono de todos os perfis da base de dados multiplicada pela área do Brasil coberta por solos.

Tabela 4. Número de perfis amostrado (n), área que eles representam no mapa e o estoque total de carbono estimado em Pg (C), para os quatro grupamentos criados e considerando todas as amostras da base de solos.

	Grupamento				todas as amostras
	solo	bioma-solo	bioma-uso do solo	bioma- solo-uso do solo	
n	1712	1700	770	752	1764
área	8310827,65	7790563,93	8026595,98	6546071,59	8313058,99
C	36,60	36,30	32,32	34,65	36,41

Observa-se que o grupamento bioma-uso do solo apresentou a menor relação de número de perfis por área representada no mapa, indicando que este foi o grupamento com menor representatividade de dados do banco de dados de solos.

O estoque de carbono obtido, considerando a média de todas as amostras, apresenta valor muito próximo dos valores obtidos para os dois primeiros grupamentos, os mesmos que utilizaram maior número de amostras, quase que a totalidade de perfis disponíveis na base de dados.

Embora os grupamentos solos e solos-biomas tenham envolvido quase todas as amostras disponíveis e se estendam por quase todo o território, sua deficiência está em não considerar na análise os diferentes usos do solo.

Embora a informação do uso do solo seja de grande importância para a estimativa do estoque de carbono dos solos, os grupamentos que utilizaram essas informações foram os que puderam utilizar menor número de amostras e representaram áreas menores do território nacional.

Conclusões

As estimativas de estoque de carbono obtidas, considerando os quatro grupamentos, apresentam valores próximos entre si e com a estimativa obtida por Bernoux et al. (2002), exceto a estimativa obtida para o terceiro grupamento (diferentes usos e biomas). Porém uma análise mais detalhada dos resultados mostra que a base de dados disponível apresenta lacunas que impedem a estimativa robusta do estoque de carbono dos solos do Brasil considerando a distribuição das classes de solos em todos os biomas do território nacional e os diferentes tipos de uso do solo.

A formação de um banco de dados de solos em nível nacional e a adição de novos perfis, prioritariamente nas regiões aonde se tem deficiência de informação, irá permitir uma avaliação mais precisa dos estoques de carbono no Brasil. Além dos dados de carbono, o banco de dados utilizado neste trabalho apresenta outras variáveis de solos que podem ser utilizadas para estimativas dos fatores de emissão, juntamente com variáveis climáticas, permitindo o uso dessa base para estudos de modelagem de diferentes cenários.

Referências Bibliográficas

BENITES, V. de M.; MACHADO, P. L. O. A.; FIDALGO, E. C. C.; COELHO, M. R.; MADARI, B. E. Pedotransfer functions for estimating bulk density of Brazilian soils. **Geoderma**, v. 139, n. 1/2, p. 90-97, Apr. 2007.

BERNOUX, M.; CARVALHO, M. da C. S.; VOLKOFF, B.; CERRI, C. C. CO₂ emission from mineral soils following land-cover change in Brazil. **Global Change Biology**, v. 7, n. 7, p. 779-787, Oct. 2001.

CHAGAS, C. S.; CARVALHO JUNIOR, W.; BHERING, S. B.; TANAKA, A. K.; BACA, J. F. M. Estrutura e organização do Sistema de Informações Georreferenciadas de Solos do Brasil (SIGSOLOS – Versão 1.0). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, n. 5, p. 865-876, set./out. 2004.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília: Embrapa Produção de Informação, 1999. 412 p.

HOWARD, P. J. A., LOVELAND, P. J., BRADLEY, R. I., DRY, F. T., HOWARD, D. M., HOWARD, D. C. The carbon content of soil and its geographical distribution in Great Britain. **Soil Use and Management**, v. 11, n. 1, p. 9-15, Mar. 1995.

IBGE. **Mapa de biomas do Brasil**. Rio de Janeiro: IBGE, 2004. 1 mapa, color., escala 1:5.000.000. Disponível em: <ftp://ftp.ibge.gov.br/cartas_e_mapas/mapas_murais/>. Acesso em: 17 nov. 2006a.

IBGE. **Mapa de solos do Brasil**. Rio de Janeiro: IBGE, 2001. 1 mapa, color. Escala 1:5.000.000. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: 17 nov. 2006b.

IBGE. **Mapa de vegetação do Brasil**. Rio de Janeiro: IBGE, 2004. 1 mapa, color., 81 x 99 cm. Escala 1:5.000.000.

ONU. Intergovernmental Panel on Climate Change. **Revised 1996 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories**: reference manual. Paris: IPCC: UNEP: OECD: IEA:, 1997. 3 v. Edição conjunta: Intergovernmental Panel on Climate Change; United Nations Environment Programme; Organization for Economic Co-Operation and Development, International Energy Agency.

WATSON, R. T. (Ed.). **Climate change 2001**: synthesis report: third assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, Inglaterra: Cambridge University, 2001. 408 p.



Solos